Studijní opory 19 - 22

19 - 20) VEDENÍ ELEKTRICKÉHO PROUDU V POLOVODIČÍCH

elektrický odpor polovodičů

Čím má látka menší odpor, tím je vodivější a prochází jí větší el proud. Z Ohmova zákona pro kovy platí:



Měrný odpor látek odráží jejich strukturu a informuje nás o schopnosti látky vést elektrický proud. Podle této schopnosti látky dělíme na vodiče, polovodiče a izolanty



Měrný odpor látek je pochopitelně závislý na teplotě okolí (obecně na dodané energii). Zatímco u **kovů** se odpor s rostoucí teplotou **zvětšuje** a snižuje se tak velikost elektrického proudu, u **polovodičů** je tomu přesně **naopak**.

**Polovodiče jsou látky, které podle různých podmínek vystupují**

**jako vodiče nebo jako izolanty.**

Nejznámější polovodiče jsou Si, C, B, Ge, Sn, ZnS, PbS, TiO2. Jejich užití je obrovské, vyrábí se z nich fotorezistory, termistory, diody, tranzistory, aj.

vlastní vodivost

Abychom mohli vysvětlit proč se polovodiče chovají při zahřívání zcela **jinak než kovy**, je nutné nahlédnout **do struktury** polovodiče (např. křemík Si).

a) za *nízkých teplot* je vazba Si – Si velmi stabilní, nemohou vznikat volné nosiče náboje (nejideálnější případ při OK).



b) pokud ale *látku zahřejeme* (dodáme světelnou či jinou energii), tak dochází ke zvětšování kmitů mřížky a elektrony jsou postupně „vytřeseny“.

Elektron, který se uvolnil z vazby, je volný nosič náboje, který zvyšuje vodivost látky. Prázdné místo, které po něm zůstalo, je **kvazičásticí zvanou díra**. S rostoucí teplotou počet **generovaných děr a elektronů** roste, tím i vodivost. Jak je umožněn pohyb elektronů v elektrickém poli?



Generované elektrony se pohybují v elektrickém poli, kde jsou **lapeny dírou**, dojde k **rekombinaci** (zrušení nosičů náboje). Ale děj generace – rekombinace se znova opakuje, jen o částici dále. Poměr generací a rekombinací je tedy stále stejný!



**ELEKTRICKÝ PROUD V POLOVODIČÍCH JE TVOŘEN**

**USPOŘÁDANÝM POHYBEM ELEKTRONŮ A DĚR – DRIFTOVÝ PROUD.**

NEVLASTNÍ VODIVOST

Teplota však není jediný důvod vodivosti polovodičů, velkou úlohu hrají i **poruchy krystalové mřížky**, kdy je prvek znečištěn příměsí jiného prvku. Tento jev je *málo závislý na teplotě*.

a) P (As, Sb, Bi) má o jeden **elektron více**, než je třeba na zapojení do struktury křemíku, fosfor se tedy stává **DONOREM** elektronu a tvoří nevlastní vodivost **TYPU N**.



b) Ga (B, Al, In) má o jeden **elektron méně**, než by bylo třeba, aby se plně zapojil do struktury křemíku. Vytváří se tedy prázdné (vakantní) místo – **DÍRA**. Galium je **AKCEPTOREM** elektronů, tvoří nevlastní vodivost **typu P**.

21) polovodičová dioda

výroba a praxe

Dioda je na rozdíl od kovů nelineární prvek elektrického obvodu (to znamená, že pro ni neplatí Ohmův zákon). Dioda je tvořena **spojením polovodiče typu P** (ANODA) a **polovodiče typu N** (KATODA).

**Vyrábí** setažením monokrystalu o vysoké čistotě ( počítače ) nebo sléváním - na polovodič typu N naneseme příměs a zahřejeme tak, aby příměs pronikla do polovodiče typu N za tvorby polovodiče typu P.



**Využití v praxi** je rozličné.Hrotová dioda se užívá ve vysokofrekvenčních obvodech, má velkou citlivost, styk P a N je totiž na velmi malé plošce). V současné době mají velký nástup LED diody, díky pronikavému, chladnému světlu, které je však mimořádně úsporné (LED – sloučenina GaAs – při rekombinaci vzniká záření). Význam má i fotodioda (přeměna světelné energie na elektrickou), využití bychom našli u fotobuněk otevírajících se dveří.

diodový jev



Pokud spojíme polovodič typu N a typu P, tak dojde k pohybu elektronů a děr k sobě. Nosiče náboje vzájemně rekombinují a po ustálení rovnováhy se mezi P a N vytváří **HRADLOVÁ VRSTVA (1 nm)** s elektrickým polem, které je dáno náboji vzájemně interagujících akceptorů a donorů. Ty vytvoří vnitřní elektrické pole, které zabraňuje dalšímu pohybu volných nosičů náboje. Nevodivou situaci lze změnit jen připojením ke zdroji napětí, který dokáže význam vnitřního elektrického pole potlačit.



voltampérová charakteristika diody



Pozn.: po překročení IFmax dojde ke zničení diody, po překročení Uz dojde u Zenerovy diody k prudkém nárůstu proudu ( u většiny diod ke zničení)

22) tranzistor

pRVEK

Jeden z nejdůležitějších polovodičových prvků el. obvodu, který umožňuje zesílení elektrického proudu. Je tvořen dvěma přechody PN (dioda jen jedním). Spojení může být v pořadí NPN či PNP. Budeme se zabývat jen spojením NPN.



TRANZISTOROVÝ JEV

1947 Bardeen, Brattain, Shockeley (1956 Nobelova cena) objevili jedinečný jev. Elektrony emitované v propustném směru NP mají v bázi nedostatek prostoru, aby mohlo dojít k rekombinaci, jsou silně přitahovány ke kladnému potenciálu, na který je připojen kolektor v závěrném směru. Elektrony prochází kolektorem a vytváří mnohem větší proud, než prochází bází ⇒ zesílení proudu za konstantího napětí UEC.

význam

Objev umožnil likvidaci starých zesilovačů proudu, obrovských skleněných elektrod a triod. Tranzistory mají mnohem menší spotřebu (nepotřebují žhavení), mají velmi malé rozměry (zmenšení počítačů z velikosti několika místností na netbooky). Významná je i dlouhá životnost, odolnost vůči otřesu, pádu, nevýhodou je ale závislost na teplotě a malý příkon.

Studijní opory 23 - 27

23 - 24) VEDENÍ ELEKTRICKÉHO PROUDU V kapalinách

DISOCIACE A ELEKTROLÝZA

Kapalina může být vodivá pouze tehdy, pokud má dostatek volných nosičů elektrického náboje. Tuto podmínku splňují **elektrolyty**, což jsou látky, které jsou schopny rozpadu, tzv. elektrolytické disociace, na **kationty a anionty.** To jsou volné nosiče, i když mnohem hmotnější než elektrony. K elektrolytům patří kyseliny, zásady či roztoky solí, všechny látky jsou schopné disociace: 

Pokud vytvoříme v elektrolytu elektrické pole vložením elektrod, tak dojde k usměrněnému pohybu kationtů a aniontů k elektrodám, kde dochází k redoxním (výměny elektronů), ale také chemickým reakcím (rozežírání elektrody, vznik povrchových vrstviček).

**Děj, kdy dochází při průchodu el. proudu elektrolytem k látkovým změnám na elektrodách, se nazývá ELEKTROLÝZA.**

a) elektrolýza (redoxní a chemické děje) b) elektrolýza (jen redoxní děje)



Využití v praxi je rozličné – elektrometalurgie (zisk kovů z roztoků), galvanostegie (pokovování), čistící metody, elektrogravimetrie, galvanické leptání, elektrolytický kondenzátor

Voltampérová charateristika a polarizace

Zkusme určit závislost proudu procházejícího elektrolytem na napětí u zinku v roztoku síranu zinečnatého a mědi v roztoku síranu měďnatého.



Z daného měření zjišťujeme, že při velmi malém napětí neprochází elektrolytem proud. Až po překročení **rozkladného napětí** prochází proud, dokonce **platí Ohmův zákon**. Proč je tomu tak? Co to způsobuje?

Ponoříme-li kovovou elektrodu do elektrolytu, tak dojde k její **POLARIZACI**. Jedná se o fyzikální děj, při kterém vzniká elektrická dvojvrstva. Totiž každý kov má schopnost buď přijímat z roztoku kationty (Cu), pak se nabíjí kladně, nebo uvolňuje kationty do roztoku (Zn), pak se nabíjí záporně). Mezi kovem a roztokem se vytváří elektrolytický potenciál směřující proti EMN a znemožňuje tak pohyb elektronům a tím průchod proudu. Po překonání rozkladného napětí je tento potenciál potlačen a obvodem prochází proud: 



Ponořením kovu do roztoku stejného kovu vzniká **poločlánek**. Polarizaci můžeme zabránit chemickou metodou, přidáním **DEPOLARIZÁTORŮ**.

25) FARADAYOVY ZÁKONY PRO ELEKTROLÝZU ZÁKONY (1833)

Kationty se vylučují na záporné elektrodě (dojde k jejich redukci, proto se elektroda nazývá katoda). Anionty se vylučují na kladné elektrodě (dojde k jejich oxidaci, proto se elektroda nazývá anoda).

**Každá vyloučená částice** na elektrodě **odevzdá nebo přijme určitý počet elektronů**, za čas t tedy projde elektrolytem náboj:

Q = I . t, kde Q = N (počet molekul) . e (elementární náboj) . (ox.číslo)

m = N . mo

m0 = M / NA

Spojením všech údajů získáme hmotnost vyloučené látky, které přenesla elektrolytem náboj Q. V rovnici se nám objeví nová konstanta.

 ⇒ **FARADAYOVA KOSTANTA**

F = (6,022 . 1023 . 1,602 . 10-19) C.mol-1 = 9,65 . 104 C.mol-1

**1.FARADAYŮV ZÁKON:   
Hmotnost vyloučené látky je přímo úměrná náboji Q,   
který prošel elektrolytem: m = A.Q = A.I.t,**

kde A je elektrochemický ekvivalent.

**2.FARADAYŮV ZÁKON:   
elektrochemický ekvivalent látky vypočteme,   
jestliže její molární hmotnost vydělíme Faradayovou konstantou a počtem elektronů potřebných k vyloučení jedné molekuly:   
**

**2.FARADAYŮV ZÁKON: látková množství různých látek vyloučených   
při elektrolýze týmž nábojem jsou chemicky ekvivalentní.**

1) Určete elektrochemický ekvivalent niklu v NiSO4, pokud z tabulek zjistíme   
Ar (Ni) = 58,71 ⇒ A=(M/F.=58,71.10-3/9,65.104 . 2=3,04 . 10-7 kg.C-1

2) Jak dlouho musí roztokem NiSO4 procházet 5 A, aby se na katodě o povrchu 2,1 dm2 vyloučila vrstva Ni silná 0,02 mm? Hustota niklu je 8900 kg.m-3. Jaká elektrická práce se spotřebuje při napětí mezi elektrodami 3,5 V.



26) galvanické články (primární zdroje)

voltův článek

Tvořen zinkovou a měděnou elektrodou v zředěné kyselině sírové. Zinek přechází do roztoku a tvoří se elektrická dvojvrstva s 1 = – 0,76 V. Měď naopak poskytuje elektrony a vzniká elektrická dvojvrstva s 2 = + 0,34 V. Vodivým spojením těchto elektrod získáváme rozdíl potenciálu U = Δ = 1,1 V. Zinek je záporným pólem a měď je kladným pólem. Proud ve vnějším obvodu je tvořen elektrony a ve vnitřním ionty, kdy na povrchu elektrod dochází k výměně nábojů. Protože ale elektrony odchází obvodem, tak se porušuje rovnováha mezi kovem (vodič I. třídy) a elektrolytem (vodič II. třídy), musí dojít tedy k rozpuštění zinkové elektrody a vzniku dalších kationtů, které reagují s síranovými anionty a zároveň přijímají kationty vodíku elektrony od mědi a vylučují se jako vodík. Těmito ději se článek znehodnocuje.



ostatní články

**Daniellův článek** ⇒Zn v ZnSO4 polopropustně spojen s Cu v CuSO4 (Ue=1,1 V)

**Suché články (Leclanchéovy)** ⇒ Zn válcová nádoba s uhlíkovou tyčinkou obklopenou depolarizátorem (směsí burelu a koksu). Elektrolytem je roztok salmiaku zahuštěný škrobem. Shora je článek zalit asfaltem. Při průchodu proudu dojde k elektrolýze, zinková elektroda se rozpouští a tím se znehodnocuje článek, znehodnocení uhlíkové elektrody je znemožněno depolarizátorem. EMN = 1,5 V (suchý článek), spojení tří suchých článků vzniká plochá baterie o EMN = 4,5 V, možná je výroba i plošných článků o vyšším EMN.

27) akumulátory (sekundární zdroje)

olověný akumulátor

Do nádoby s roztokem kyseliny sírové vložíme dvě olověné elektrody. Elektrody se pokryjí vrstvou PbSO4. Máme dvě stejné elektrolytické dvojvrstvy, tedy rozdíl potenciálu mezi nimi je nulový.

a) **NABÍJENÍ**: připojíme na akumulátor vnější zdroj. Ionty SO42- se pohybují ke kladné elektrodě a reagují s PbSO4 za vzniku PbO2 (oxidace). Ionty H+ se pohybují k záporné elektrodě a redukují PbSO4 na Pb. Náhle máme dvě odlišné dvojvrstvy ⇒ PbO2 a elektrolyt na jedné straně, Pb a elektrolyt na straně druhé. Vzniká EMN = 2,75 V.

b) **VYBÍJENÍ**: Záporná elektroda poskytuje elektrony a dochází k oxidaci Pb na PbSO4 . Kladná elektroda přijímá elektrony a dochází k redukci PbO2 na PbSO4. EMN klesá na 2,1 V a později až na 1,85 V ⇒ nutnost znova akumulátor nabít

V praxi se akumulátorové články zapojují za sebou do akumulátorových baterií o EMN = 6V, 12 V, 24 V (Ri = 0,01 Ohm). Schopnost dodat určitý náboj do vnějšího obvodu při poklesu napětí z 2,75V na 1,85V určuje **KAPACITA AKUMULÁTORU**. Ta se udává v A.h ( rozmezí 10 A.h až 250 A.h ). Kapacita akumulátoru klesá s teplotou.

ostatní akumulátory

Oceloniklové v KOH (NiFe) ⇒ EMN = 1,45 V

Niklokadmiový v KOH (NiCd) – dnes nahrazován NiMH⇒ EMN = 1,2 V

Stříbrozinkový

Stříbrokadmiový ⇒ EMN = 1,3 V

28) vedení elektrický proudu v plynech

vodivost plynu

Aby mohl plyn vést elektrický proud, tak musíme zabezpečit, aby měl dostatek volných nosičů elektrického náboje. Běžně sledujeme, že vzduch je velmi dobrý izolant, je ale izolantem za každé situace? Podívejme se na **ionizační komoru.**



Proč náhle při zahřátí ukázal ampérmetr výchylku? Působením tepelného zdroje se plyn **ionizoval**, tedy elektron v molekule dostane takovou energii, že vyletí z molekuly a vznikají volné nosiče elektrického náboje: **ELEKTRON A KATIONT,** pochopitelně není vyloučeno, že elektron narazí do molekuly a vytvoří **ANIONT.** Zároveň dochází i k rekombinaci.

Zdroje **ionizační energie** nazýváme **ionizátory** – vysoká teplota (plamen, rozpálené kovy), radioaktivní záření  i , elmag záření (UV, RTG).

Volné nosiče náboje získávají v elektrickém poli energii, kterou lze kvantitativně stanovit:



nesamostatný a samotatný výboj v plynu

Co se stane, když ionizátor odstavíme?

a) elektrický proud přestane procházet – elektrický proud v plynu, který se udržuje jen po dobu působení ionizátoru, se nazývá **NESAMOSTATNÝ VÝBOJ.**

b) elektrický proud stále prochází – tento jev nastane, pokud volné nosiče elektrického náboje jsou schopny v silném elektrickém poli, **při tzv. zápalném napětí,** získat dostatečně velkou energii, že při nárazu na jinou molekulu vyvolají novou ionizaci. Jevu způsobenému **IONIZACÍ NÁRAZEM** říkáme **SAMOSTATNÝ VÝBOJ**. Ten je zcela nezávislý na vnějším ionizátoru. Při této ionizaci vzniká **PLAZMA**. Samostatný výboj může být i vyvolán sekundární emisí, tepelnou emisí, fotoemisí a tunelovým jevem.



VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA VÝBOJE

POPIS CHARAKTERISTIKY



Ad 1) při malém napětí a malých proudech nesamostatného (tichého) výboje je charakteristika lineární a platí Ohmův zákon

Ad 2) následně je Ohmův zákon porušen a charakteristika se zakřivuje

Ad 3,4) dochází k nasycení el. proudu, který se udržuje na konstantní hodnotě In. Rekombinace a generace nosičů jsou v dynamické rovnováze

Ad 5) překročíme-li hranici zápalného napětí Uz, tak přechází nesamostatný výboj v samostatný – lze odstavit ionizátor

Ad 0B) po překročení zápalného napětí vzniká v plynu **normální doutnavý výboj**(0A), který přechází v **anomální doutnavý výboj** (AB) – oba se projevují vysokým napětím a velmi nízkým el. proudem.

Ad CD) při velkých proudech a nízkém napětí vzniká **obloukový výboj**, což je umožněno velkým zvýšením vodivosti plynu (stoupla ionizace)

Ad BC) oblast nestabilního krátkodobého **jiskrového výboje**, který lze přirovnat k vybíjení či razantnímu vybití energie – v této oblasti není zdroj schopen udržovat trvalý elektrický proud

VYUŽITÍ V PRAXI

**1) NESAMOSTATNÝ VÝBOJ:**

Počet volných nosičů náboje závisí na koncentraci molekul v plynu,   
tzn. že závisí na tlaku plynu. Vyrábí se tedy **ionizační vakuoměry** k měření tlaku.

**2) OBLOUKOVÝ VÝBOJ:**

Parametry jsou nejméně 60V zdroj dodávající 10A. Výboj lze vytvořit tak, že ke zdroji připojíme 2 uhlíkové elektrody (je dobré zapojit i rezistor), které na chvíli spojíme ⇒ konce elektrod se silně nažhaví ⇒ oddálíme je na několik milimetrů ⇒ vzduch mezi elektrodami se velmi rychle a silně ohřeje ⇒ plynem o teplotě tisíci kelvinů a tlaku v MPa prochází silný proud, což sebou nese intenzivní světelné efekty.

Typické pro promítačky, světlomety, vysokotlaké sodíkové výbojky (žluté světlo na ulici), vysokotlaké rtuťové výbojky (UV v horském slunci), svařování.

**3) JISKROVÝ VÝBOJ:**

Přeskok jiskry je doprovázen **zvukovým efektem** („praskání“ až ohlušující rány). Příkladem je blesk (vyrovnání napětí mezi mrakem a zemí ⇒ 109 V, 105 A, 100kW.h).

**4) KORÓNA:**

Trsovitý výboj kolem drátů, hran a hrotů s vysokým potenciálem. Příčina tráty energie, nutnost eliminace.

**5) DOUTNAVÝ VÝBOJ:**

Lze pozorovat ve skleněné trubici (praxe – 50 cm), která má uvnitř elektrody připojené na zdroj (praxe - 10kV). Vzduch je z trubice vyčerpán vývěvou a tím je snížen tlak, což umožní, aby samostatný výboj probíhal při mnohem menším napětí než za atmosférického tlaku – vzniká doutnavý výboj:

a) p = 104 Pa : v trubici vzniká úzký vlnící se pruh

b) p = 100 Pa : pruh výboje vyplňuje celou trubici





U katody modravé světlo, u anody růžový sloupec.

Využití jako ekonomické kontrolní doutnavky – krátké výbojky plněné neonem při 103 Pa, kdy vzniká jen katodové světlo (funkčnost 80V – 150V).

Reklamní trubice a zářivky – plněny Ar a Hg, kdy vzniká anodový sloupec (vzniká UV záření, které excituje oxidy kovů na stěně trubice a ty vyzařují dané světelné spektrum)

katodové a kanálové záření

Ve výbojové trubici se pohybují elektrony ke kladné elektrodě (ANODĚ) a kladné ionty k záporné elektrodě (KATODĚ). Za normálních okolností za elektrody nemohou proniknout. Pokud do elektrod uděláme díru a soustředíme tak částice do úzkého pruhu, pak je možné za katodou sledovat **KANÁLOVÉ ZÁŘENÍ** a za anodou **KATODOVÉ ZÁŘENÍ**. Při poklesu tlaku na 1 Pa vymizí katodové a anodové světlo a stěny proti katodě silně zeleně světélkují.

Elektrony prolétají trubicí téměř beze srážek – převládá katodové záření, úzký letící pruh elektronů lze vychylovat magnetickým i elektrickým polem. Záření roztočí mlýnek (mechanické účinky), rozžhaví elektrodu (tepelné účinky), může vzniknout rentgenové záření (rentgenka).

obrazovka



Ve vakuu (p = 10-4 Pa) vyletují elektrony ze žhavé katody K (tepelné emise), jsou usměrněny do malého otvoru a silně urychleny anodami A. Paprsek elektronů je vychylován destičkami D (elektrostaticky, magnetickým polem). Dále pak dopadá na stínítko S, které je pokryto ZnS, v místě dopadu vzniká svítící stopa.

diody, triody

V praxi nahrazeny polovodiči (polovodičová dioda a tranzistor)

rentgenka



Z wolframové katody vychází ve vakuu proud urychlených elektronů (desítky až stovky kV), narazí na překážku, tímto rychlým zbržděním vzniká v oblasti anody rentgenové záření (paprsky X).

Paprsky X ionizují vzduch, způsobují fluerescenci, působí na fotografickou emulzi. **POHLCOVÁNÍ RTG LÁTKAMI STOUPÁ S JEJICH ATOMOVOU HMOTNOSTÍ** (lékařství ⇒ kosti mají strukturu tvořenou především vápníkem s Ar = 40 a pohlcují mnohem více RTG než svalstvo z C (Ar = 12), H (Ar = 1), O (Ar=16), N (Ar =14) ⇒ obraz jasné kosti na polostínu svalstva).